

Licenciatura Noturna de Física
Instituto de Física
UFRJ

PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO DE FINAL DE
CURSO

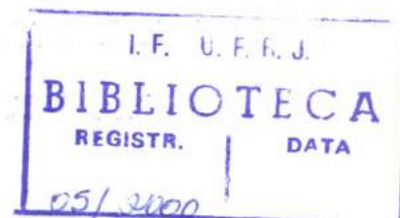
**FORNO SOLAR
E SUA UTILIZAÇÃO NO
ENSINO DE FÍSICA**

Aluno: Filipe de Moraes Paiva
DRE: 081118674
Orientadora: Deise Miranda Vianna

Banca:
Deise Miranda Vianna
Susana Lehrer de Souza Barros
Francisco Arthur Braun Chaves

05/2000

Dezembro de 2000



Dedicatória

À minha esposa Adriana,
que sempre me ilumina com idéias quentes.

Agradecimentos

- À Deise pela orientação e dedicação demonstrada na aplicação das aulas.
- Ao Francisco Cordeiro e ao José Antônio pela confiança.
- Aos alunos e à equipe do Colégio Tereziano pelo apoio ao projeto.
- À dança e à música, porque existem.

Resumo

Atualmente, trazer o cotidiano para a sala de aula é uma das prioridades do ensino, destacada no PCN do Ensino Médio. Neste projeto, traremos não somente uma das atividades mais presentes na vida de qualquer pessoa, a alimentação, para a sala de aula, mas também levaremos a aprendizagem para as residências. De fato, se por um lado construiremos e utilizaremos um forno solar ao mesmo tempo em que estudaremos os conceitos físicos envolvidos, termologia e ótica, por outro lado incentivaremos seu uso contínuo pelos alunos e suas famílias em suas próprias residências, como uma alternativa barata (quase gratuita) para o cozimento de alimentos e esterilização de água. Estudaremos ainda os aspectos ecológicos e econômicos envolvidos.

Índice

Dedicatória.....	i
Agradecimentos.....	i
Resumo.....	i
Índice.....	ii
Introdução.....	1
Capítulo 1 - Forno solar: funcionamento e construção.....	4
1.1 - Introdução.....	4
1.2 - Material e custo para a construção de um forno solar.....	5
1.2.1 - Material a ser comprado.....	5
1.2.2 - Material reciclado gratuito.....	6
1.2.3 - Custo total.....	6
1.2.4 - Ferramentas.....	6
1.3 - Etapas da construção do forno solar.....	6
1.4 - Forno didático.....	8
Capítulo 2 - Conteúdo físico.....	10
2.1 - Introdução.....	10
2.2 - Termologia.....	10
2.2.1 - Medida.....	10
2.2.2 - Termômetro.....	11
2.2.3 - Escalas termométricas.....	11
2.2.4 - As três formas de propagação de calor.....	11
2.2.5 - Capacidade térmica.....	12
2.2.6 - Calor específico.....	12
2.2.7 - Mudança de fase.....	12
2.2.8 - Ebulição e evaporação.....	12
2.2.9 - Condensação.....	12
2.3 - Ótica.....	13
2.3.1 - Reflexão.....	13
2.3.2 - Absorção.....	13
2.3.3 - Superfícies planas e curvas.....	13
Capítulo 3 - Plano de aulas: ano 2000.....	14
3.1 - Introdução.....	14
3.2 - Primeira aula - lista de material.....	15
3.3 - Segunda aula - construção do forno.....	15
3.4 - Terceira aula - cozimento.....	18
Capítulo 4 - Aplicação das aulas: ano 2000.....	20
4.1 - Introdução.....	20
4.2 - Primeira aula - lista de material.....	20
4.2.1 - Turma 2A.....	20
4.2.2 - Turma 2B.....	20
4.2.3 - Turma 2C.....	20
4.3 - Segunda aula - construção do forno.....	20
4.3.1 - Turma 2A.....	21
4.3.2 - Turma 2B.....	22
4.3.3 - Turma 2C.....	22
4.4 - Terceira aula - cozimento.....	22
Capítulo 5 - Análise das aulas: ano 2000.....	24

5.1 - Introdução	24
5.2 - Análise dos fornos feitos pelos alunos.....	24
5.2.1 - Turma 2A.....	25
5.2.2 - Turma 2B.....	25
5.2.3 - Turma 2C.....	26
5.3 - Análise do processo de construção dos fornos.....	26
5.4 - Análise dos relatórios	27
Conclusão.....	30
Referências.....	33
Apêndice A - Lista de material para o Forno Solar	I
Apêndice B - Instruções para construção do forno solar	II
Apêndice C - Roteiro para o 1º relatório - lista de material para a aula de cozimento ...	IV
Apêndice D - Roteiro para acompanhamento da aula de cozimento.....	V
Apêndice E - Roteiro para o segundo relatório.....	V
Apêndice F - Parecer do Professor Francisco Cordeiro	VI
Apêndice G - Figuras e fotografias.....	VII

Introdução

O acesso a fogões ou aparelhos, mesmo os mais simples, e a combustíveis é restrito para a grande parte da população brasileira. Assim, o forno solar alia o estudo de diversos conceitos físicos com o cotidiano, com a problemática ecológica e econômica, com o estudo da nutrição, enveredando pela biologia. É portanto um laboratório ideal para estudos interdisciplinares e transversais.

A utilização de material, em sua maior parte reciclado, permite que o forno seja construído pelos próprios alunos por menos de R\$1,00 (veja seção 1.2). Assim eles terão o material didático, ou seja, o forno, em sua própria casa e o utilizarão frequentemente, de forma que o conteúdo e habilidades aprendidas na escola serão transportadas para o cotidiano. Por outro lado, a facilidade com que pode ser construído, aliada à riqueza dos conceitos envolvidos, permite que o forno solar seja utilizado desde as primeiras séries do ensino fundamental até o final do ensino médio.

Neste projeto nos concentraremos no ensino médio por ser a principal área de atuação do licenciado em física. Porém, a maior parte deste trabalho pode ser utilizada como base a projetos tanto no ensino fundamental como universitário.

O PCN do Ensino Médio [5] destaca o cotidiano como uma das principais metas do ensino. Assim, o assunto cozimento de alimentos adapta-se perfeitamente aos novos parâmetros. Por sua real eficácia no cozimento, o forno pode ser utilizado fora da escola, como aparato de cozimento em diversas situações como acampamentos, piquiniques ou mesmo como principal forma de cozimento em comunidades carentes, permitindo que os conceitos aprendidos em sala de aula sejam trabalhados e fixados no cotidiano.

Constitui também uma rica interface interdisciplinar com a biologia no estudo da nutrição, esterilização e prevenção de doenças, com as artes em todo o processo de construção do forno, com a química na escolha de materiais não tóxicos, com a matemática no cálculo de área, volumes e traçados de curvas parabólicas, com a história e geografia no estudo das necessidades energéticas da humanidade e com as letras, na pesquisa e elaboração de material na Internet em português e outras línguas.

O apelo ecológico do forno pode torná-lo um importante personagem em um tratamento do tema transversal do meio ambiente, também destacado no PCN. A utilização de energia solar, fontes alternativas e baratas de energia e soluções dos problemas enfrentados por comunidades carentes são temas bastante atuais que podem ser facilmente abordados a partir do estudo do forno solar.

Assim, vemos que o forno solar alia diversos destaques da atual tendência do Ensino no Brasil. Seja no cotidiano, na interdisciplinaridade ou na transversalidade, fazendo parte de temáticas bastante discutidas atualmente como alimentação, fontes alternativas de energia, reciclagem, meio ambiente etc. Sua utilização pode contribuir fortemente para o desenvolvimento de competências e habilidades citadas no PCN, seja nos itens de representação e comunicação seja em investigação e compreensão, seja em contextualização sócio-cultural. No primeiro caso destacamos do PCN [5]: *“elaborar sínteses ou esquemas estruturados dos temas físicos trabalhados”*; no segundo, citamos: *“desenvolver a capacidade de investigação física”, “estimar ordens de grandeza, ... fazer hipóteses, testar”, “identificar parâmetros relevantes”, “descobrir o ‘como funciona’ de aparelhos”, “construir e investigar situações-problema, ... prever, avaliar, ...”, “articular o conhecimento físico com conhecimentos de outras áreas do saber científico”*; no terceiro destacamos: *“reconhecer a física enquanto construção humana, ...”, “reconhecer o papel da física no sistema produtivo, ...”, “ser capaz de emitir juízos de valor em relação a situações sociais que envolvam aspectos físicos ...”*. Enfim, praticamente todas as competências e habilidades podem ser trabalhadas convenientemente, dependendo do interesse didático do momento.

Além do PCN, há diversos autores que discutem as características desejáveis do ensino de física no Ensino Médio, seja diretamente [4] ou através da discussão sobre a formação de professores [6] e [7]. O forno solar pode ser utilizado didaticamente de forma a preencher vários dos pontos estudados nesses textos. Como exemplo, citamos a seguir algumas passagens. Sobre aprendizagem significativa: *“... um aprendizado que faça sentido desde logo”* [4], *“a aprendizagem entendida como um processo de significação e de construção de conhecimentos”* [6], *“uma aprendizagem significativa é favorecida pela participação dos estudantes na (re)construção dos conhecimentos”* [7]; relacionando aprendizagem significativa com pesquisa: *“Saber que os alunos aprendem significativamente construindo*

conhecimentos, o que exige aproximar a aprendizagem das Ciências às características do trabalho científico" [7]; sobre o fracasso escolar: *"Questionar o caráter 'natural' do fracasso..."* [7], *"Questionar ... o fracasso de muitos estudantes é atribuído a suas próprias deficiências, sejam elas intelectuais ..."* [6]; sobre a competência da contextualização social da ciência: *"... interações Ciências/Tecnologia/Sociedades associadas a construção do conhecimento ..."* [6], *"Favorecer ... elaboração de produtos (capazes de romper com propostas excessivamente escolares e de reforçar o interesse pela tarefa)"* [7].

Na conclusão, voltaremos a discutir algumas dessas questões com base na experiência adquirida na utilização do forno solar em sala de aula. Nos capítulos 1 e 2 discutimos o funcionamento, a construção e os conceitos físicos envolvidos no forno solar. Em seguida, nos capítulos 3 e 4, planejamos, e aplicamos aulas utilizando o forno. Em algumas destas aulas, fizemos filmagem e gravação sonora, de forma que o comportamento dos alunos foi analisado tanto no momento da aula como mais calmamente pela observação das fitas gravadas. Completando a análise das aulas, avaliamos, no capítulo 5, os fornos construídos pelos alunos e os relatórios entregues após sua construção. Dessa forma, pudemos avaliar sistematicamente a absorção dos conceitos físicos.

Capítulo 1 - Forno solar: funcionamento e construção

1.1 - Introdução

Para podermos discutir o conteúdo físico do forno solar e o planejamento das aulas, necessitamos conhecer mais detalhes de sua construção e funcionamento. Neste capítulo discutimos então os tipos de forno, o material e os custos do forno, sua construção e funcionamento e ainda a construção de um modelo didático de forno de caixa, que pode ser aberto permitindo aos alunos observar detalhes da construção.

Podemos classificar os fornos solares em três tipos: os comerciais, os que utilizam material sofisticado, e finalmente os caseiros. Os comerciais não nos interessam; os sofisticados aparecem em algumas páginas da internet em português e apesar de serem úteis para demonstrações em salas de aulas e feiras de ciência, sua construção exige a aquisição de material que nem sempre pode ser facilmente obtido. Finalmente, os caseiros são feitos com papelão, cola, plástico, carvão, filme plástico e papel alumínio, sendo além disso, de fácil construção. É esse que nos interessa devido a sua capacidade de difusão por qualquer camada social e a facilidade em construí-lo em sala de aula.

O forno caseiro, por sua vez, pode ser de três tipos básicos: os parabólicos, os de vários painéis planos e os de caixa. Os parabólicos têm um anteparo refletor parabólico que concentra os raios solares em seu foco, atingem temperaturas comparáveis a um forno convencional, porém precisam ser constantemente reorientados para o sol, além de poderem causar danos à pele ou olhos se forem inabilmente utilizados. Os de vários painéis planos são uma boa alternativa ao parabólico, pois apesar de menos eficientes, são mais simples de construir e manusear. Ambos são adequados para demonstrações em sala de aula e diversos conceitos físicos podem ser com eles estudados. Finalmente os de caixa são os de mais simples construção e utilização e neles nos concentraremos.

O forno solar de caixa concentra, por reflexão, a luz solar sobre o alimento e utiliza-se de isolamento térmico para evitar a perda de calor. O mecanismo de

isolamento térmico juntamente com diversos fenômenos que ocorrem durante o cozimento fazem do forno um excelente laboratório para o estudo da termologia e ótica. Com formato aproximadamente de um cubo de 30 a 40 cm de lado, o forno consiste em duas caixas de papelão sem as tampas, uma dentro da outra, com um espaço de no mínimo 2cm entre os respectivos fundos e paredes. As extremidades superiores das paredes são unidas, lacrando o espaço entre as caixas. As paredes e fundos internos de cada caixa são revestidos de papel alumínio e o fundo da caixa interna é pintado de preto. Possui uma tampa removível para permitir o manuseio dos alimentos. A parte diretamente sobre a abertura do forno é de um duplo filme plástico transparente. Presa à tampa há uma aba basculante, do tamanho da abertura do forno, revestida de papel alumínio. Ver figs. G.6 e G.7.

Esse tipo de forno pode atingir temperaturas de até 150°C. Porém 65°C já é o suficiente para pasteurizar a água (não é necessário fervê-la), enquanto que 90°C é o suficiente para a maioria dos cozimentos, lembrando que a água não atinge temperaturas superiores a 100°C. Se por um lado o cozimento demorará mais que num forno convencional, por outro, não será necessário tomar conta da comida, pois as baixas temperaturas atingidas não permitirão que os alimentos queimem.

1.2 - Material e custo para a construção de um forno solar

1.2.1 - Material a ser comprado

- um rolo de papel alumínio, suficiente para 2 a 3 fornos: R\$1,00,
- um rolo de sacos plásticos para micro-ondas, suficiente para 100 fornos: R\$3,87 ou um rolo de filme plástico para churrasco, suficiente para 22 forno: R\$6,80. O segundo parece mais transparente, porém esquenta mais e provavelmente deixa o forno perder mais calor.
- um pacote de 1kg de farinha de trigo para fazer a cola e tinta preta, suficiente para dezenas de fornos: R\$0,75;
- um saco de carvão para fazer a tinta preta, suficiente para dezenas de fornos: R\$3,20;
- pode-se utilizar cola escolar anti-tóxica;
- pode-se utilizar tinta quache preta anti-tóxica.

1.2.2 - Material reciclado gratuito

- caixas de papelão;
- 25cm de arame.

1.2.3 - Custo total

O custo total de um forno solar é menos de R\$1,00. Portanto este tipo de aula pode ser utilizado em qualquer escola pública. O baixo custo permite que o forno solar possa ser transformado em um projeto integrado da escola com comunidades carentes onde a falta de energia convencional seria suprida pela energia solar.

1.2.4 - Ferramentas

A ferramenta necessária é basicamente a tesoura. Estiletes, régua e recipiente para misturar carvão com farinha podem ser também utilizados.

1.3 - Etapas da construção do forno solar

Dada a natureza de baixo custo do forno solar, a principal fonte de informação para sua construção e utilização vem a ser a internet, onde existem diversas páginas, em geral em inglês. As principais são as referências [8] e [9]. É nossa intenção divulgar parte dessa monografia na internet de forma a termos uma página sobre forno solar também em português. Seguem as instruções para construção do forno solar que são completadas pelos desenhos e fotografias no apêndice G.

1 - Dicas artesanais: i) caixas de papelão podem ser facilmente desmontadas separando-se as partes coladas com cuidado. ii) Para remontá-las no tamanho desejado, dobre o papelão marcando o local a ser dobrado com o cabo da tesoura guiado por uma régua e recorte onde for necessário. iii) Utilize pouca cola.

2 - Selecione a maior das caixas de papelão para ser a caixa externa; a menor será a interna. Escolha o tamanho para o seu forno e remonte a caixa externa no tamanho adequado. Remonte a caixa interna de forma a criar um espaço de no mínimo 2cm entre as duas dos lados e embaixo. Como garantia de bom isolamento, planeje 3cm, pois ao dobrar o papelão, costuma-se perder até 1cm. Lembre-se que quanto maior o forno, maior sua eficiência e que o espaço de 2cm entre as caixas é apenas o mínimo para garantir um bom isolamento. Portanto, em geral a caixa externa pode ser deixada do seu tamanho natural.

3 - O tamanho mínimo recomendado em [5, 6] é 38cmX38cm enquanto a altura deve ser apenas o suficiente para caber a panela. Porém podemos construir um bom forno mais portátil a partir de caixas de papel A4 com 31cmX31cm e 22cm de altura ou, para não mexermos na caixa externa, podemos fazê-lo retangular com 44cmX31cm (ver fig. G.7).

4 - Revista internamente ambas as caixas colando papel alumínio.

5 - Tiras de papelão de 2cm de largura, formando anéis devem ser coladas no fundo da caixa externa de forma a suportar a caixa interna e a panela com alimentos (ver figs. G.1 e G.3).

6 - Cole a caixa interna sobre essas tiras, no fundo da caixa externa, de forma formar o espaço de ar entre as caixas, embaixo e dos lados.

7 - Dobre (você terá que fazer cortes nos cantos) as bordas superiores da caixa externa para dentro de forma a encostarem horizontalmente nas laterais da caixa interna e cole os 4 cantos formando uma borda horizontal firme (ver figs. G.2 e G.3).

8 - Dobre (você terá que fazer cortes nos cantos) as bordas superiores da caixa interna para fora, na altura do bordo da caixa externa, de forma que as bordas dobradas da caixa interna encostem horizontalmente sobre as bordas dobradas (no item 7) da caixa externa. Corte as sobras da caixa interna que ultrapassarem as laterais da caixa externa (ver figs. G.4 e G.5).

9 - Cole as bordas horizontais da caixa interna nas dobras horizontais da caixa externa vedando o espaço de ar entre as duas caixas.

(10) - No forno didático (seção 1.4 a seguir), a caixa interna não será colada para permitir ao aluno ver o interior do forno. Como as etapas 6 e 9 não serão executadas, torna-se necessário melhorar o acabamento da caixa. Cole um pedaço extra de papelão em cada um dos 4 cantos das dobras da caixa interna para que eles não fiquem soltos e formem uma borda horizontal firme.

11 - Pinte o fundo da caixa interna (sobre o papel alumínio) de preto. Caso o fundo da caixa interna não seja inteiriço, faça um novo fundo de papelão, recubra-o com papel alumínio, pinte o papel alumínio de preto e cole sobre o fundo original (que não precisa então ser coberto de papel alumínio).

12 - Se sua caixa externa possui tampa, você pode usá-la. Se a caixa externa tiver sido reduzida (item 2), reduza também a tampa. Caso não haja tampa, faça

uma com uma placa de papelão cerca de 10cm maior (em largura e comprimento) que a boca da caixa externa. Recorte, dobre e cole as laterais de maneira formar uma tampa que possa ser colocada e retirada do forno.

13 - Meça a abertura da caixa interna do forno para poder fazer uma "abertura" de igual tamanho na tampa. Recorte apenas três lados da abertura, formando uma aba móvel; cuidado para não deformar a aba ao recortá-la. Faça isso de forma que as ondulações do papelão formem buraquinhos de cada lado da aba, e não na extremidade.

14 - Cubra a parte interna da aba com papel alumínio.

15 - Cole um plástico resistente ao calor na parte interna da tampa, tomando cuidado para não colá-lo na aba. Pode ser plástico para micro-ondas ou para churrasco.

16 - Corte um pedaço de 22cm de arame, retifique-o e dobre as pontas em ângulo reto a 2cm da extremidade, uma para cada lado. Coloque o arame nos furos do papelão, na tampa e na aba, de forma a levantá-la (ver figs. G.6 e G.7).

17 - Detalhes finais: i) Utilize cola de farinha de trigo ou cola não tóxica. ii) Utilize carvão misturado a cola de farinha de trigo para pintar o fundo; ou carvão misturado com cola não tóxica; ou tinta não tóxica. iii) Cole duas folhas de plástico na tampa para melhorar o isolamento. Se utilizar um saco plástico, cole a abertura do mesmo. iv) Utilize uma panela preta de metal leve para o cozimento. v) Com pedaços extras de papelão pode-se aumentar o tamanho da aba, o que aumenta a quantidade de luz refletida para o interior do forno.

1.4 - Forno didático

Denominamos de *forno didático*, um forno solar onde a caixa externa e interna não foram presas e o fundo não foi pintado de preto. Dessa forma, detalhes da construção do forno podem ser observados. Para não prender as caixas, basta não colar a caixa interna no fundo da externa (item 6 da seção 1.3) e não colar as dobras das laterais da caixa interna nas dobras das laterais da caixa externa (item 9 da seção 1.3); o acabamento no item 10 da seção 1.3 é opcional.

Para podermos utilizar o forno didático para cozimento, fazemos um fundo removível, recortando um placa de papelão do tamanho do fundo da caixa interna, colando de um lado papel alumínio que pintamos de preto. Como acessórios,

construímos diversas partes de forno solar, porém incompletas, que podem ser encaixadas umas às outras em várias combinações diferentes: uma caixa externa sem papel alumínio no interior; uma caixa interna sem papel alumínio no interior; uma tampa sem a cobertura plástica; uma tampa com aba maior; uma armação independente para a cobertura plástica com diferentes tipos de plástico, com uma ou duas ou três folhas. Juntando alternadamente essas partes, podemos testar a função de cada detalhe do forno no cozimento de alimentos e assim planejar melhorias na sua construção. Esse tipo de estudo pode ser feito tanto em aulas como em um trabalho de pesquisa sobre o aperfeiçoamento de fornos solares caseiros.

Capítulo 2 - Conteúdo físico

2.1 - Introdução

Como vimos, o forno solar de caixa concentra por reflexão a luz solar sobre o alimento e utiliza-se de isolamento térmico para evitar a perda de calor. É portanto excelente laboratório para o estudo da termologia e ótica. Em termologia destacamos: medida, termômetro, escalas termométricas, as três formas de propagação de calor, capacidade térmica, calor específico, mudança de fase, evaporação, ebulição e condensação. Em ótica destacamos: reflexão em superfícies planas e curvas e absorção [1, 2, 3, 5]. Na seção 2.2 abaixo descrevemos os conceitos de termologia e na seção 2.3 os conceitos de ótica a nível de ensino médio.

O forno solar de caixa é também um excelente aparato para estudos interdisciplinares e transversais. Diversos fatores contribuem para isso. O baixo custo, a facilidade de construção, a possibilidade de utilização na alimentação seja como experimento seja na vida real, o emprego de energia solar e as condições econômicas (pobreza) e climáticas (riqueza em luz solar) de diversas regiões do Brasil, onde o forno solar de caixa seria uma solução barata e eficiente para o cozimento e esterilização de água.

2.2 - Termologia

2.2.1 - Medida

Durante o cozimento serão feitas medidas de temperatura e tempo. Podem ser trabalhados conceitos de *precisão* e *algarismos significativos*. Podem ainda ser feitos *gráficos* da evolução da temperatura com o tempo. Podemos ainda medir a temperatura dentro da panela e dentro do forno.

O significado das temperaturas envolvidas pode também ser trabalhado. Por exemplo, o forno atinge até 150°C; será que ele pode pegar fogo? A resposta é não, já que a combustão do papelão ocorre acima de 232°C. Outro exemplo: é costume ferver a água para esterilizá-la, porém o aquecimento até 65°C por 20 min é o

suficiente. Portanto mesmo em condições climáticas desfavoráveis o forno poder ser utilizado para esterilizar água. A fervura é na verdade apenas uma garantia, já que não é simples usualmente saber quando a temperatura de 65°C foi atingida.

2.2.2 - Termômetro

Trabalharemos com o tipo de termômetro visto em aula, que é do tipo do termômetro clínico também conhecido pelos alunos, ou seja, aquele em que a temperatura é medida pela dilatação da coluna de um líquido.

2.2.3 - Escalas termométricas

Utilizaremos termômetros com as escalas Celcius e Fahrenheit, fixando o conceito de mudança de escala.

2.2.4 - As três formas de propagação de calor

Radiação - A caixa interna, aquecida, emite radiação térmica. A parte emitida para fora é refletida de volta pelo papel alumínio no interior da caixa externa. A parte refletida para dentro ou i) atinge a panela ou fundo preto, sendo absorvida ou ii) atinge o papel alumínio no interior da caixa interna sendo eventualmente refletida sobre a panela ou fundo preto ou perdida para o exterior ou iii) é refletida diretamente para o exterior. Um tópico interessante de estudo seria a minimização dessas perdas

Condução - A placa preta no fundo da caixa transmite calor à panela por condução. A panela transmite calor ao alimento por condução. O ar é mau condutor de calor, portanto a camada de ar entre as duas caixas funciona como isolante térmico, não permitindo transmissão de calor por condução da caixa interna para a externa.

O forno parabólico apontado à noite para um céu escuro pode servir para refrigerar alimentos. Será que o forno de caixa pode ter essa utilidade? Aqui no Rio de Janeiro? A utilização do forno como refrigerador levanta questões sobre o que é um isolante térmico, como funciona um casaco de lã etc.

Convecção - A camada de ar entre as duas caixas sofre convecção, o que diminui sua capacidade isolante (a melhoria deste isolamento é um outro tópico de estudo). O ar aquecido no interior da panela tende a subir carregando consigo o calor, portanto a panela deve ser fechada. O ar aquecido no interior do forno tende a

subir também, portanto o forno deve ser fechado com o plástico. O plástico torna-se muito quente, transportando calor por *condução* para o exterior, portanto o plástico deve ser duplo, com uma pequena camada de ar entre as duas folhas de plástico, funcionando como isolante. A duplicação da camada plástica pode diminuir a entrada de luz, portanto deve-se procurar um plástico muito transparente à luz.

O vidro poderia substituir o plástico, pois é bastante transparente, sendo também isolante térmico (por isso é utilizado em estufas). Porém, isso tornaria o forno mais caro, pesado e frágil. Além disso, parece que a dupla camada plástica surte o mesmo efeito.

2.2.5 - Capacidade térmica

O cozimento de diferentes quantidades de alimento ou o simples aquecimento de água ilustrarão a capacidade térmica.

2.2.6 - Calor específico

Pode-se comparar o aquecimento de uma mesma massa de alimentos diferentes, ilustrando o calor específico. Note porém que no cozimento, outros processos podem influir além do calor específico.

2.2.7 - Mudança de fase

Em geral, o forno não necessitará atingir temperaturas acima de 100°C, visto que a esta temperatura a água, presente na maioria dos alimentos, muda de fase, passando a vapor.

2.2.8 - Ebulição e evaporação

A mudança da água da fase líquida para a gasosa pode ocorrer por ebulição, a 100°C ou por evaporação a temperaturas menores. O forno solar, por não atingir usualmente a temperatura de ebulição, é um ótimo laboratório para a constatação da evaporação, que na cozinha convencional pode passar despercebida.

2.2.9 - Condensação

A condensação da água na superfície do plástico que cobre o forno evidencia a evaporação mencionada anteriormente.

2.3 - Ótica

2.3.1 - Reflexão

A caixa interna, de paredes planas é revestida de papel alumínio. Há ainda uma aba basculante plana, sobre a tampa, também revestida de papel alumínio. A luz solar reflete-se nessas superfícies até que finalmente atinge a panela ou o fundo preto onde é absorvida. A posição da aba deve ser tal que o raio refletido incida dentro do forno. O correto posicionamento da aba é um aplicação aparentemente trivial da lei da reflexão (ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência), porém é fundamental para o funcionamento do forno. A tendência parece ser de colocar a aba mais baixa do que o ideal. O professor deve ficar atento a esse ponto.

2.3.2 - Absorção

No forno, temos superfícies lisas formando espelhos planos, refletindo a luz e, superfícies pretas que a absorvem, devido a sua coloração.

2.3.3 - Superfícies planas e curvas

No forno de caixa, todas as superfícies refletoras são planas. Porém, fornos igualmente baratos podem ser feitos com superfícies curvas que concentram muito mais a luz solar. Fornos com refletores parabólicos chegam a temperaturas mais altas que os fornos de caixa e podem ser inclusive perigosos, se mal utilizados. Esses assuntos podem ser discutidos e podem ser feitos pequenos refletores curvos para serem presos nas laterais do forno.

Capítulo 3 - Plano de aulas: ano 2000

3.1 - Introdução

Essas aulas foram planejadas para as três turmas, 2A, 2B e 2C, da segunda série do Ensino Médio no Colégio Terezino (CAP/PUC), um colégio particular situado na Gávea, Rio de Janeiro, onde o autor vem fazendo a prática de ensino nessas turmas durante todo o ano 2000.

As turmas 2A, 2B e 2C têm as seguintes características: cerca de 28 alunos de ambos os sexos; 4 aulas semanais de 50 minutos (veja tabela 3.1); aulas expositivas; aulas de exercício individual ou em grupo; aulas envolvendo demonstrações experimentais, filmes, trabalhos em grupo e apresentação de seminários com cartazes e experimentos; não houve, este ano, nenhuma outra atividade que requeresse habilidade artesanal, exceto a construção deste forno solar. As turmas 2A e 2B são regidas pelo prof. Francisco Cordeiro e a turma 2C pelo prof. José Antônio.

horário	7:00	7:50	8:40	9:30	10:20	10:50	11:40
tempo	1 ^o	2 ^o	3 ^o	4 ^o	recreio	5 ^o	6 ^o
segunda	2B				recreio	2A	2B
quarta			2C/2A	2C	recreio		
sexta	2C	2C	2A	2B	recreio	2A	2B

Tabela 3.1 - Horário de aulas de Física da Segunda Série do Ensino Médio.

O conteúdo na três séries do Ensino Médio é: *primeira série* - mecânica, até leis de Newton; *segunda série* - completa-se a mecânica e inicia-se termologia; *terceira série* - completa-se termologia e estuda-se ondas, ótica, hidrodinâmica e eletricidade. Na segunda série, este ano 2000, em termologia, estudou-se: escalas, calorimetria e mudança de fase. Foi deixado para a terceira série: propagação de calor, dilatação, teoria dos gases e termodinâmica.

As aulas que apresentamos a seguir foram aplicadas na última semana de aulas de forma que dos conteúdos pertinentes ao forno solar (capítulo 2), propagação do calor e a ótica ainda não haviam sido estudadas. Portanto essas

aulas foram uma primeira familiarização com esses conceitos, que serão formalizados no início do ano seguinte, na terceira série.

O pouco tempo que dispunhamos para aplicação do projeto nos obrigou a concentrar as atividades em três aulas:

- i) Primeira aula: entrega da lista de material ao final da aula;
- ii) Segunda aula: construção do forno;
- iii) Terceira aula: Utilização do forno.

3.2 - Primeira aula - lista de material

Nesta primeira etapa de aplicação do projeto, utilizaremos apenas os 10 minutos finais da aula. Apresentaremos a idéia do forno solar e dividiremos a turma em grupos de cinco ou seis alunos. A cada grupo entregaremos a lista do material necessário para a construção do forno conforme discutido na seção 1.2, tirando dúvidas sobre a mesma. O apêndice A mostra a lista a ser entregue aos alunos. Pediremos aos grupos que coletem o material e o tragam na aula do dia tal, 2 semanas após. Informaremos que esse trabalho valerá nota.

3.3 - Segunda aula - construção do forno

Está será a aula principal, onde os alunos construirão o forno e discutirão a função de cada uma de suas partes com relação aos conceitos físicos envolvidos. O professor deverá levar:

- i) um *forno pronto*, igual ao que os alunos farão.
- ii) um *forno didático* onde a caixa externa e interna não foram presas e o fundo não foi pintado de preto. Dessa forma, detalhes da construção do forno podem ser observados pelos alunos (veja detalhes na seção 1.4).
- iii) *material extra* para a construção do forno, para suprir possíveis falhas na coleta de material por parte dos grupos.

Diversas questões devem ser discutidas durante a construção do forno, de forma que os alunos trabalhem com os conceitos físicos. Uma seleção de perguntas seria:

- 1 - Por quê utilizar duas caixas? Qual a função da camada de ar entre as caixas?
- 2 - Qual a função do papel alumínio na caixa externa?

- 3 - Para que serve a cobertura plástica?
- 4 - Por quê a cobertura plástica é dupla? E se fôsse vidro?
- 5 - Por quê o fundo é preto?
- 6 - Por quê utilizar panela preta?
- 7 - Qual a função do papel alumínio na caixa interna?
- 8 - Qual a função da aba?
- 9 - Por quê a aba pode mover-se?
- 10 - Por onde o forno perde mais calor?
- 11 - Como poderíamos melhorar o forno?
- 12 - O que parece ser desnecessário no forno?
- 13 - Onde poderíamos economizar em mão de obra?
- 14 - Onde poderíamos economizar em dinheiro?

No início da aula, dividiremos a turma nos seus grupos e entregaremos a cada grupo o conteúdo do apêndice B. Neste encontra-se uma breve descrição do forno, as questões acima para que os alunos as discutam durante a construção do forno, uma repetição da lista de material e ferramentas utilizados e as instruções para construção do forno. Note que essas instruções foram otimizadas a partir do descrito na seção 1.3, de forma que o tempo de construção seja mínimo e caiba em uma aula de 50 min. Os alunos devem ser encorajados a explorar os fornos levados pelo professor de forma a compreender melhor o que estão construindo e detalhes da construção.

É possível que a construção dos fornos não seja completada na aula, devido ao tempo escasso. Os alunos serão orientados a terminar o forno em casa.

As questões discutidas em aula deverão constar de um relatório que será feito em casa, em grupo, para ser entregue na aula seguinte. De forma a estimular um trabalho de casa mais metódico, as questões anteriores foram acrescidas de mais detalhes. Seguem abaixo as questões, reunidas em quatro conjuntos, de acordo com o conteúdo explorado:

Conjunto I - Propagação de calor: isolamento térmico e as três formas de propagação de calor.

- 1 - Por quê utilizar duas caixas? Qual a função da camada de ar entre as caixas? Que forma de transmissão de calor é dificultada por essa camada de ar?

2 - Qual a função do papel alumínio na caixa externa? Que forma de transmissão de calor é proporcionada por estas folhas de papel alumínio?

3 - Para que serve a cobertura plástica? Que forma de transmissão de calor é dificultada pelo plástico?

4 - Por quê a cobertura plástica é dupla? Que outra forma de transmissão de calor é dificultada pela dupla camada?

Conjunto II - Absorção de calor: absorção da luz pela cor preta e a capacidade térmica da panela leve.

5 - Por quê o fundo é preto? O que aconteceria se fosse de outra cor?

6 - Por quê utilizar panela preta? Por que a panela deve ter paredes finas?

Conjunto III - Reflexão: reflexão e os ângulos de incidência e reflexão.

7 - Qual a função do papel alumínio na caixa interna? Se não houvesse o papel alumínio, o que aconteceria com a luz solar ao chegar à parede?

8 - Qual a função da aba? Por que ela é coberta com papel alumínio?

9 - Por quê a aba pode mover-se? O que você sabe sobre os ângulos de incidência e reflexão em um espelho plano?

Conjunto IV - Melhoramentos no forno: possíveis melhorias ao forno, quanto ao isolamento e concentração de luz e quanto a mão de obra e economia.

10 - Por onde o forno perde mais calor? Onde o isolamento está mais fraco? Qual a dificuldade de isolar essa região?

11 - Como poderíamos melhorar o forno? Como melhorar o isolamento? Como melhorar a concentração de raios luminosos?

12 - O que parece ser desnecessário no forno?

13 - Onde poderíamos economizar em mão de obra?

14 - Onde poderíamos economizar em dinheiro?

Essas perguntas, apresentadas sequencialmente (sem a divisão por conjuntos acima), fazem parte de um roteiro para elaboração do relatório que será entregue aos alunos ao final da aula, de forma a não atrapalhar seu andamento. Junto a ele, entregaremos a lista de material que deverá ser trazido para a aula de cozimento, cuja data deve ser marcada, onde os fornos serão utilizados para cozimento de alimentos. O apêndice C mostra o roteiro e a lista de material tal como serão entregues aos alunos.

3.4 - Terceira aula - cozimento

Condições climáticas favoráveis - “sol forte” - são indispensáveis para o sucesso desta aula, pois aqui utilizaremos o forno para o cozimento de alimentos. O professor deve estar preparado para desmarcá-la e remarcá-la se necessário.

Os grupos trarão seus fornos prontos, panelas, alimentos, termômetros e pratos e garfos (veja detalhes no apêndice C) para o pátio do colégio, juntamente com o professor que trará:

- i) Seu forno solar igual ao dos alunos (opcional).
- ii) Seu forno solar grande, para demonstrar o cozimento de uma quantidade maior de alimentos, com uma panela preta apropriada.
- iii) Seu forno didático, que será montado sem o plástico da tampa, porém com a caixa externa e com o fundo preto, para ilustrar a diferença no tempo de cozimento.
- iv) Latas escurecidas ao fogo para cozimento de alimentos, para um dos fornos do professor e para serem utilizadas caso os alunos não as tragam.
- v) Arroz para suprir faltas.
- vi) água.
- vii) Uma balança.
- viii) Termômetros com escalas de 25°C a 200°C (termômetro de estufa ou de doceira) e um termômetro com escala de 20°C a 50°C, para medir a temperatura ambiente.
- ix) Prato e garfo.

Para diminuir ao máximo o tempo de cozimento e podermos aproveitar mais tempo para discussões, utilizaremos como panela pequenas latas (leite condensado, atum, sardinha) e pequeníssimas porções de alimento. Estimamos um tempo de cozimento médio de 30 min. O forno grande levado pelo professor será utilizado pelos alunos com uma panela grande e uma porção grande de comida, que deverá estar pronta ao final da aula para que os alunos constatem que o forno não é apenas um experimento e sim um forno de verdade.

Inicia-se a aula no pátio. Os alunos serão instruídos a prepararem seus fornos, os dois fornos do professor, o grande com a panela grande e bastante comida e o forno didático sem plástico na tampa. Deixarão ainda uma lata, com alimento, a ser deixada ao Sol para servir de medida da temperatura sem forno solar. Os alimentos e água deverão ser pesados. Serão fornecidos três termômetros

que os alunos utilizarão revezando-se. Um quarto termômetro com escala até 50°C será utilizado para medir a temperatura ambiente. Os alunos devem medir tempo e temperatura. Note que para medida da temperatura, o termômetro deve ser colocado dentro do forno, que deverá ser aberto novamente para leitura, dependendo do grau de transparência do plástico utilizado. Não devemos fazer muitas leituras pois esse procedimento esfriará o forno. O professor deve supervisionar todo o processo orientando o posicionamento dos fornos e das abas em relação ao Sol e coordenando as medições.

Aos alunos será entregue um roteiro (apêndice D) para melhor aproveitamento da aula.

Completado o cozimento, os alimentos começam a ser ingeridos e inicia-se o simpósio¹ ou discussão. Na realidade as discussões já terão se iniciado assim que os fornos começam a ser preparados para o cozimento. Cabe ao professor coordenar o simpósio adequando-se ao andamento da aula: se os alunos mostrarem-se questionadores, bastará ao professor guiá-los pelas respostas; se mostrarem-se apáticos, caberá ao professor estimulá-los com questões que atraiam a atenção. Nessa etapa, os alunos devem tomar notas, completando o roteiro.

Além do primeiro relatório já feito e de um segundo que ainda será feito, o professor deverá avaliar a aula diretamente pela participação dos alunos. Tendo sido alcançado os objetivos, ou seja, tendo a discussão levado os alunos a compreender os conceitos físicos envolvidos, o professor entregará aos grupos o roteiro para o segundo relatório (apêndice E). A aula termina com a discussão sobre a elaboração desse relatório e, esperamos, a degustação dos alimentos do forno que continha uma quantidade maior de alimentos e que a esta altura já deverão estar cozidos.

¹ Simpósio, na antiga Grécia, um banquete, ou melhor, a parte do banquete entremeada de jogos e diversões, atualmente, uma reunião para discutir-se determinados assuntos.

Capítulo 4 - Aplicação das aulas: ano 2000

4.1 - Introdução

No que segue descrevemos sucintamente cada aula, por turma. Adiantamos que limitação de tempo não permitiu que a terceira aula - cozimento - fosse aplicada e avaliada da maneira planejada.

4.2 - Primeira aula - lista de material

4.2.1 - Turma 2A

Dia 23/10/2000, segunda feira, 5º tempo. Houve bastante interesse com os grupos já se organizando e discutindo quem procuraria cada parte do material.

4.2.2 - Turma 2B

Dia 23/10/2000, segunda feira, 6º tempo. Tivemos menos tempo (cerca de 5 min). Além disso, era a última aula do dia, de forma que o interesse demonstrado foi pequeno.

4.2.3 - Turma 2C

Dia 25/10/2000, quarta-feira, 3º tempo. Utilizamos o meio da aula. A pedido do professor regente, entregamos uma lista de material para cada aluno. Houve muito interesse pela utilização do forno e pela aula de cozimento.

4.3 - Segunda aula - construção do forno

Levamos 3 fornos para a aula: dois fornos didáticos e um completo. Um dos didáticos era do mesmo tamanho (41cmX31cm) que o forno dos alunos que utilizaram caixas de papel A4. Os outros dois (o completo e o outro didático) eram modelos menores onde a caixa de papel A4 foi redobrada no formato quadrado (31cmX31cm). Note que após entregarmos a lista de material com o tamanho mínimo para as caixas, constatamos que seria mais rápido construir o forno do tamanho da caixa maior, de forma a poupar o trabalho de reduzir o tamanho de duas caixas (etapa 3 da seção 1.3).

Levamos rolos de papel alumínio, um rolo de filme plástico para microondas (não foi utilizado); um rolo de filme plástico para churrasco, que foi utilizado por todos os grupos; cola escolar; carvão em pó; estiletes; tesouras; arame já cortado; caixas de papel A4; sobras de papelão.

Os alunos sabiam que estas aulas faziam parte deste projeto de final de curso, porém a gravação sonora e a filmagem não causou incômodo.

O cronograma planejado para a construção do forno foi o seguinte (veja a tabela 3.1 com o horário de aula das turmas):

- Turma 2B: dia 6/11/2000 segunda-feira 1^o tempo;
- Turma 2A: dia 6/11/2000 segunda-feira 5^o tempo;
- Turma 2C: dia 8/11/2000 quarta-feira 3^o e 4^o tempos.

É importante observar que o dia 10/11/2000 foi o último dia de aula e que as provas iniciaram-se na semana seguinte. A seguir apresentamos o cronograma efetivamente realizado.

4.3.1 - Turma 2A

Dia 6/11/2000 segunda-feira 5^o tempo. Fizemos gravação sonora. Iniciamos a aula entregando as instruções aos alunos. Os fornos do professor foram deixados como modelo a serem explorados pelos alunos. Um tempo não foi suficiente de forma que planejamos utilizar o 3^o tempo de sexta-feira dia 10/11/2000 para continuar. Houve pouco tempo para discussão física, estando os alunos preocupados apenas com a montagem.

Dia 10/11/2000 sexta-feira 3^o tempo. Fizemos gravação sonora. Os fornos foram completados. Quatro alunas da turma 2B (que já havia completado os fornos no dia 6 e que neste dia 10, último dia de aula haviam sido dispensados no 3^o tempo) vieram ajudar uma colega da turma 2A que havia faltado a aula anterior de construção do forno.

Dia 10/11/2000 sexta-feira 4^o tempo. Como foi o último dia de aula, as turmas 2A e 2B foram dispensadas. Aproveitamos esse tempo e parte do recreio para cozinhar com os alunos interessados das duas turmas (veja seção 4.4). Nesse meio tempo os relatórios foram entregues pelos alunos.

4.3.2 - Turma 2B

Dia 6/11/2000 segunda-feira 1º tempo. Iniciamos a aula entregando as instruções aos alunos. Os fornos do professor foram deixados como modelo a serem explorados pelos alunos. Um tempo não foi suficiente de forma que planejamos utilizar o 6º tempo no mesmo dia para continuar. Houve pouco tempo para discussão física, estando os alunos preocupados apenas com a montagem. Um grupo utilizou carvão misturado com cola para pintar.

Dia 6/11/2000 segunda-feira 6º tempo. Fizemos gravação sonora. 2 grupos completaram o forno e um relatório ficou quase pronto. Combinamos que os relatórios e demais fornos seriam completados em casa e marcou-se a entrega para sexta-feira dia 10/11/2000. Pudemos fazer alguma discussão física.

Dia 10/11/2000 sexta-feira 4º tempo. Como foi o último dia de aula, a turma 2B foi dispensada no 3º tempo, porém alguns alunos ainda não haviam ido embora e desceram junto com a turma 2A para o cozimento. Nesse meio tempo os relatórios e os fornos terminados em casa foram entregues pelos alunos.

4.3.3 - Turma 2C

Dia 8/11/2000 quarta-feira 3º e 4º tempos. Fizemos gravação sonora e a profa. Deise fez a filmagem. Iniciamos a aula mostrando os fornos prontos e descrevendo como construí-los. Em seguida entregamos as instruções escritas. Os grupos completaram seus fornos e presenciaram o cozimento de arroz no forno do professor, na própria sala. A entrega do relatório ficou marcada para sexta-feira dia 10/11/2000. Houve alguma discussão física. Um grupo utilizou carvão misturado com cola para pintar (gostaram muito de sujar as mãos) e outro utilizou cola de farinha de trigo para colagem. Um grupo fez medida muito cuidadosas para montar o forno.

Dia 10/11/2000 sexta-feira 1º tempo. Apenas um grupo da turma 2C entregou o relatório. Marcou-se nova entrega para a segunda-feira seguinte mas, terminado o ano letivo, os demais relatórios não foram entregues.

4.4 - Terceira aula - cozimento

Após a turma 2A terminar a construção dos fornos, no início do 4º tempo, descemos para o pátio com os alunos interessados das turmas 2A e 2B e seus fornos. Note que oficialmente as aulas já haviam terminado e só os alunos realmente

interessados participaram. No total havia o forno do professor e mais dois fornos dos alunos. Os alunos espalharam-se pelo pátio: alguns em volta dos fornos, outros jogando bola e outros mais afastados conversando; todos vindo de vez em quando verificar o que acontecia com os fornos. Alunos de outras série mostraram-se também interessados.

Uma colher de arroz foi colocada em uma pequena lata e os alunos providenciaram água. A lata foi colocada na panela preta que foi tapada e colocada no forno do professor. Um dos alunos colocou um pedaço de pão no seu forno. Em cada um dos três fornos foi colocado um termômetro. Os alunos marcaram a hora: 10:05h.

Os fornos dos alunos tinham plástico transparente o suficiente para ler o termômetro sem tirar a tampa enquanto que para ler o termômetro no forno do professor era necessário retirar a tampa.

Os fornos dos alunos rapidamente chegaram a 75°C enquanto o forno do professor ainda estava a 60°C. Porém, ao final de uns 40min os fornos dos alunos estavam a 80°C enquanto que o do professor estabilizou em 100°C. Abrimos a panela para observar o arroz praticamente cozido. No outro forno, verificamos que o pão estava torrado.

O porquê das diferenças de temperaturas foram discutidos e algumas hipótese levantadas. O plástico utilizado pelos alunos, apesar de mais transparente, parecia refletir mais luz que o outro. Verificou-se também que o plástico dos alunos estava mais quente e que portanto deveria deixar passar mais calor de dentro para fora. O fato do forno do professor ser maior, ter aba maior e ter um melhor acabamento foi também considerado pelos alunos.

Finalmente alguns alunos ajudaram o professor a guardar os fornos e aproveitaram para provar um pouco do arroz.

Capítulo 5 - Análise das aulas: ano 2000

5.1 - Introdução

As aulas com o forno solar ocuparam as três últimas semanas do período letivo, concentrando-se na última semana com a construção dos fornos. Apesar de dirigidas somente aos alunos das três turmas da segunda série do ensino médio, despertaram o interesse de outros alunos, dos professores de outras disciplinas e da coordenação do colégio. O comportamento dos alunos frente às aulas foi muito apreciado pelos professores de física das turmas 2A e 2B (Francisco Cordeiro) e da turma 2C (José Antônio) e pela coordenadora do Ensino Médio (profa. Wilma Franco Tocantins do Tereziano), que acompanharam de perto os alunos.

A Profa. Wilma enfatizou que mesmo aqueles alunos que geralmente ao final das aulas já estão querendo sair da sala, nesta atividade permaneceram trabalhando até mesmo após o horário normal. Considerou notável o interesse das alunas da turma 2B em ajudar a colega da turma 2A a montar o forno. Salientou o interesse despertado nos alunos, mesmo naqueles considerados mais difíceis e que costumam ter um baixo desempenho em aulas expositivas. Finalmente, acrescentou que tanto a Coordenação do Ensino Médio, como a Coordenação Geral e a Direção aprovaram a repercussão do projeto.

Tanto o Prof. Francisco Cordeiro quanto o Prof. José Antônio consideraram a atividade como muito produtiva para os alunos em suas respectivas turmas. O Prof. José Antônio mostrou sua satisfação em ver o ano letivo terminando com uma atividade tão agradável tanto para os alunos como professores. O professor Francisco Cordeiro teve a oportunidade e fez a gentileza de entregar suas considerações por escrito, as quais apresentamos no apêndice F.

No que segue analisamos os fornos, sua construção e os relatórios elaborados pelos alunos.

5.2 - Análise dos fornos feitos pelos alunos

Descrevemos a seguir algumas características de cada um dos fornos construídos pelos alunos. Antes porém, fazemos alguns comentários gerais.

- Houve pouco cuidado ao cortar a aba. O corte com a tesoura pode amassar o papelão deixando a aba mole. Alguns grupos corrigiram esse defeito colando um pedaço extra de papelão na aba.
- Os grupos que utilizaram caixas com abertura embaixo não tomaram cuidado em fechar corretamente o fundo de forma que este ficou ondulado. Alguns grupos fizeram um fundo solto para corrigir este problema.
- Houve pouco cuidado com a vedação do espaço de ar entre as duas caixas.
- De maneira geral, demonstraram pouca habilidade artesanal.

5.2.1 - Turma 2A

Grupo 1 - Aba mole e fundo ondulado. Participou do cozimento atingindo 75°C, o que mostra um maior interesse.

Grupo 2 - Aba mole. Participou do cozimento atingindo 75°C, o que mostra um maior interesse.

Grupo 3 - Vedação incompleta. Este grupo é formado por apenas uma menina que faltou à primeira aula e foi auxiliada por quatro alunas da turma 2B.

Grupo 4 - Sem vedação.

Grupo 5 - Sem vedação. Fez um fundo solto; fez uma aba maior que a abertura do forno para captar mais luz; pintou o forno de preto externamente. Apesar do último detalhe não ser necessário, esses três detalhes mostram interesse.

Grupo 6 - Sem vedação. Pintou o forno de preto externamente, o que apesar de não ser necessário, mostra interesse.

Grupo 7 - Sem vedação; deixou o fundo ondulado; não deixou espaço entre as paredes das caixas interna e externa em um dos lados do forno; fez a tampa menor que o forno de forma que este não pode ser fechado. Pintou a aba de preto externamente;

5.2.2 - Turma 2B

Grupo 1 - Vedação incompleta; altura irregular da boca.

Grupo 2 - Aba mole; tampa mole; vedação incompleta; fundo ondulado; tampa larga demais de forma que o forno não fecha corretamente.

Grupo 3 - Vedação incompleta; fundo ondulado.

Grupo 4 - Acabamento bom mas faltou colar uma caixa na outra; deixou a caixa interna um pouco mais alta que a externa.

Grupo 5 - Aba mole; não fez as dobras na parte superior das caixas para colar uma na outra; deixou pouco espaço de ar entre as caixas; sem vedação. Utilizou jornal entre as caixas como isolante térmico; utilizou tinta a base de cola com carvão.

5.2.3 - Turma 2C

Grupo 1 - Fundo removível; fez medidas muito cuidadosas para montar o forno.

Grupo 2 - Aba mole e sem papel alumínio; tampa maior que o forno, não fechando completamente; vedação incompleta; fundo ondulado. Utilizou cola de farinha de trigo.

Grupo 3 - Padrão.

Grupo 4 - Sem vedação; sem dobra superior na caixa externa e dobras tortas na caixa interna. Utilizaram tinta a base de cola e carvão (divertiram-se muito com as mãos pretas).

Grupo 5 - Vedação incompleta e sem cuidado; bordas tortas; aba mole; fundo ondulado. Sem cuidado.

5.3 - Análise do processo de construção dos fornos

Baseados na análise dos fornos acima e no que observamos em sala, listamos algumas características das etapas de construção dos fornos pelos alunos.

- Alguns grupos foram rápidos e eficientes na colagem do papel alumínio, porém outros obtiveram resultados ruins.
- A maioria demonstrou pouca habilidade em lidar com o papelão: como descolá-lo, redobrá-lo e colá-lo.
- A falta de cuidado ao redobrar a caixa interna faz com que o espaço de 2cm entre as paredes seja pouco para que o resultado fique bom. Devemos aumentar esse espaço para 3cm ou 4cm para que ao final os alunos cheguem a um espaço de pelo menos 2cm.
- Houve muito pouco cuidado e habilidade em dobrar as bordas das duas caixas e colá-las. A pouca familiaridade com cola fez com que não esperassem cerca de um minuto para a colagem e imediatamente utilizassem fita adesiva.
- O forno didático, por não ter a caixa interna colada na externa, talvez tenha levado quase metade dos grupos a não colar uma caixa na outra.
- A pressa em cortar a aba com a tesoura amassou a aba tornando-a mole.

5.4 - Análise dos relatórios

Dos 13 relatórios entregues, 5 são cópias e foram descartados de nossa avaliação da eficácia deste projeto. Em uma primeira análise, atribuímos a cada resposta 2, 1 ou zero pontos. Respostas corretas ou que pelo menos mostram que alguma familiaridade com os conceitos foi adquirida recebem 2 pontos; respostas incompletas ou que mostram que alguns conceitos foram mal compreendidos recebem 1 ponto; respostas que mostram que os conceitos ainda estão confusos recebem zero. A tabela 5.1 mostra o resultado.

Turma →	A				B			C		
Relatório →	2	4	5	7	2	3	4	2		
Questão ↓									Total	%
1	2	2	2	1	1	0	2	1	11	69
2	2	1	2	2	2	0	2	1	12	75
3	2	2	2	2	2	2	2	1	15	94
4	1	2	2	2	2	2	2	0	13	81
5	2	2	2	2	2	2	2	2	16	100
6	2	2	2	2	2	2	2	2	16	100
7	0	2	2	2	2	2	2	2	14	88
8	2	2	2	2	2	2	2	2	16	100
9	1	1	2	1	2	2	1	1	11	69
10	0	2	2	2	2	2	2	2	14	88
11	2	2	2	2	2	2	2	2	16	100
12	2	2	2	2	2	2	2	2	16	100
13	1	2	2	2	2	2	2	2	15	94
14	2	2	2	2	2	2	2	2	16	100

Tabela 5.1 - Avaliação dos relatórios por questão. Cada linha corresponde a uma questão e cada coluna a um relatório (numerados conforme os grupos de alunos da seção 5.2). As duas últimas colunas apresentam o total de pontos e o percentual de acerto de cada questão. O percentual médio foi 90%.

Na seção 3.3 havíamos reunido as 14 questões em 4 conjuntos de acordo com o conteúdo explorado: conjunto I - propagação de calor - questões 1, 2, 3 e 4; conjunto II - absorção de calor - questões 5 e 6; conjunto III - reflexão - questões 7, 8 e 9 e conjunto - melhoramentos no forno - questões 10, 11, 12, 13 e 14. Para uma melhor avaliação do aprendizado desses conceitos, fizemos uma segunda análise das questões considerando os conjuntos acima. Atribuímos a cada conjunto 2, 1 ou zero pontos utilizando os mesmos critérios anteriores. Note que as notas atribuídas a cada conjunto de questões não são simplesmente a média das notas de cada resposta dentro do conjunto; são uma reavaliação do conjunto de respostas como um todo. A tabela 5.2 mostra o resultado.

Turma →	A				B			C		
Relatório →	2	4	5	7	2	3	4	2		
Conjunto de questões ↓									Total	%
I (1, 2, 3, 4)	2	2	2	2	2	1	2	1	14	88
II (5, 6)	2	2	2	2	2	2	2	2	16	100
III (7, 8, 9)	1	2	2	2	2	2	2	2	15	94
IV (10, 11, 12, 13, 14)	1	2	2	2	2	2	2	2	15	94

Tabela 5.2 - Avaliação dos relatórios por conjunto de questões. Cada linha corresponde a um conjunto de questões e cada coluna a um relatório (numerados conforme os grupos de alunos da seção 5.2). As duas últimas colunas apresentam o total de pontos e o percentual de acerto de cada conjunto de questões. O percentual médio foi 94%.

A aprendizagem de cada conceito é então avaliada pelo acerto percentual do conjunto de questões referentes ao conceito, obtido na tabela 5.2 e pelo percentual de acertos de cada questão dentro deste conjunto obtido na tabela 5.1. No que segue, estudamos, baseados nos resultados apresentados nessas tabelas, como se deu a aprendizagem de cada um dos quatro conceitos discutidos.

A absorção da luz pela cor preta e a capacidade térmica da panela leve, discutidos no conjunto de questões II, foram bem compreendidos pelos alunos. As possíveis melhorias ao forno, quanto ao isolamento e concentração de luz e quanto a mão de obra e economia, discutidas no conjunto de questões IV e que compreende uma compreensão global de todo o forno também foram bem trabalhadas pelos alunos, mostrando que no geral, os conceitos foram assimilados. A reflexão discutida no conjunto de questões III foi bem compreendida, exceto pela questão 9 sobre ângulo de incidência e reflexão, assunto que só será estudado na terceira série. Quanto a nota zero na questão 7 do relatório 2 da turma A, esta deve-se ao fato dela não ter sido respondida, provavelmente pelo fato do relatório ter sido feito nas entrelinhas da folha do roteiro e a falta desta resposta ter provavelmente passado despercebida aos alunos do grupo.

O conjunto de questões I, sobre isolamento térmico e as três formas de propagação de calor teve o pior desempenho. A questão mais problemática deste conjunto foi a primeira sobre o isolamento térmico devido a camada de ar entre as duas caixas. Muitos realmente não perceberam a função dessa camada. Esta má conceituação pode estar relacionada com o fato de a maioria dos fornos feitos pelos alunos (veja seção 5.2) não apresentar boa vedação entre as duas caixas. Podemos contornar este problema de duas maneiras: i) dando maior ênfase a esta vedação

no momento da construção levando os alunos a questionar esta necessidade; ii) utilizando na aula de cozimento, um forno sem esta camada (o forno didático sem a caixa externa), ou ainda um forno com esta camada mas sem a vedação e comparar as temperaturas atingidas.

Note que o problema do isolamento pela camada de ar constitui a primeira questão do roteiro, enquanto que a vedação é uma das últimas etapas da construção do forno. O mau desempenho nesses dois itens pode estar relacionado a uma falta de sincronia entre a apresentação das questões e a execução das tarefas correspondentes. Isto talvez indique que um reordenamento das questões, de forma que estas acompanhem mais diretamente as etapas de construção do forno pode ser útil. Por outro lado, o desempenho nesta questão não foi realmente ruim, obtendo um percentual de 69% que pode ser aumentado com uma atuação mais direta do professor no momento adequado, como discutimos no item (i) do parágrafo anterior. Podemos dizer que de maneira geral, a análise dos relatórios aponta para uma boa compreensão dos conceitos novos.

Conclusão

A leitura dos relatórios e a análise das discussões nas aulas mostram que os alunos estarão bem preparados para, no início do próximo ano letivo, na terceira série, iniciarem o estudo formal da transmissão de calor e mais adiante reflexão da luz. Essa atividade atendeu portanto ao objetivo de introduzir conceitos físicos que serão mais tarde formalizados.

Quanto ao objetivo de concretizar conceitos já estudados de termologia - escalas, medições, calor específico etc, este ficou prejudicado pela falta da aula de cozimento. Porém muitos alunos demonstraram interesse em construir fornos mais bem acabados em casa para seu próprio uso, em acampamento ou em casa de campo.

Esses dados juntamente com o interesse demonstrado pelos professores e coordenadores do Colégio Tereziano nos levam a concluir que a utilização do forno solar com fins didáticos é válida. No que segue, faremos algumas observações sobre possíveis melhorias no plano de aulas que adotamos, baseados na experiência adquirida com essas aulas.

Vários grupos não tinham o material completo ou de boa qualidade na aula de construção do forno. Alguns inclusive trouxeram tinta não comprovadamente não tóxica. A falta de familiaridade com o material gerou atraso, pressa e foi o maior causador das imperfeições verificadas nos fornos dos alunos nas seções 5.2 e 5.3. Um aprimoramento deste projeto seria a introdução de uma outra aula entre a aula 1 (entrega da lista de material) e a aula 2 (construção do forno), na qual o professor verificaria o material coletado pelos alunos e se certificaria que a tinta fosse não tóxica, que o arame não estivesse enferrujado, e que o material estivesse completo. Tendo todo o material, dois tempos de aula seriam suficientes para a construção de fornos de boa qualidade. Uma terceira aula poderia ser utilizada para acabamentos e discussões complementares, enfocando detalhes que tenham ficado mal compreendidos, como por exemplo, a questão da camada de isolamento entre as duas caixas, discutido no final da seção 5.4.

As aulas devem ser aplicadas no início ou meio do ano, de forma que haja bastante tempo para as aulas de cozimento, que requerem condições climáticas

favoráveis. Isso permitirá que o professor discuta os conceitos envolvidos e os formalize nas aulas subsequentes.

Vemos que as possibilidades didáticas do forno solar são muitas. Pode ser utilizado tanto início, como no meio ou final de uma unidade. Pode ocupar apenas duas ou três aulas do ano letivo ou pode ser utilizado durante todo o estudo de termologia, termodinâmica e ótica. Pode ser utilizado solitariamente pelo professor de física ou aliado aos demais professores em estudos interdisciplinares ou em um projeto transversal da escola. Permite da simples introdução de conceitos até uma profunda investigação científica por parte dos alunos, envolvendo coletas sistemáticas de dados para o aprimoramento do forno.

Diversas competências, habilidades e características positivas do ensino de física, discutidas nos últimos parágrafos da introdução, baseadas nas referências [4, 5, 6 e 7], foram atingidas. Passamos agora a discuti-las.

Como destacado pela coordenadora Wilma do Tereziano, na seção 5.1, mesmo os alunos considerados difíceis tiveram um bom rendimento na aula. O forno solar atingiu portanto o objetivo de constituir uma aula interessante e variada contribuindo para diminuir o fracasso escolar.

Os alunos tiveram a oportunidade de construir, não apenas o forno, mas também a física por trás do forno, proporcionando uma aprendizagem significativa evidenciada pelo alto nível dos relatórios como mostram as tabelas 5.1 e 5.2.. Destacamos os excelentes percentuais de acerto nos conjuntos de questões II, III, e IV, 100%, 94% e 94%, respectivamente e pelo percentual de acertos médio dos 4 conjuntos de questões, que foi de 94%, como indica a tabela 5.2. A utilização do forno solar em casa, acampamentos e casas de campo como proposto por alguns alunos, ou seja, a utilização do forno como um meio para o cozimento de alimentos, e não apenas como um aparelho de laboratório, transporta para a vida fora da escola os conceitos físicos aprendidos, favorecendo “...o romper com propostas excessivamente escolares ...” [7] reforçando o aprendizado significativo e contribuindo ainda mais para “... interações Ciências/Tecnologia/Sociedades associadas a construção do conhecimento ...” [6].

Os alunos tiveram, durante a construção do forno e no questionamento da função de cada parte, a oportunidade de exercitar suas competências e habilidades de investigação e compreensão. Isso ficou evidenciado pelo interesse e participação

em sala durante a construção e pelas discussões sobre as causas da maior ou menor eficiências dos fornos na aula de cozimento. Foram capazes de “*articular o conhecimento físico com conhecimentos de outras áreas do saber científico*” [5] devido ao alto grau de interdisciplinaridade do forno, como discutido na introdução.

No processo de entendimento da utilização do forno na vida prática e no questionamento da utilização das diversas formas de energia, desenvolveram suas competências e habilidades de contextualização socio-econômica. Devemos mencionar aqui o interesse despertado pelo uso simples que pode ter a energia solar, tão negligenciada, segundo os próprios alunos, em um país tão carente.

O aprimoramento das competências e habilidades de representação e comunicação foi prejudicado pelo final do ano letivo logo após a aplicação das aulas, o que não permitiu a elaboração do texto dos relatórios, como pesquisas à biblioteca, internet e apresentação de seminários pelos alunos. No entanto, o tempo dedicado em sala às discussões entre os alunos e o professor certamente contribuíram para esse aprimoramento como ficou evidenciado pelo bom desempenho obtido nos relatórios.

Referências

- [1] Alvarenga, B. e Máximo, A. (2000), "Curso de Física, volume 2", Ed. Scipione.
- [2] Guimarães, L.A. e Fonte Boa, M. (1997), "Física para o 2º Grau - Termologia e Óptica", Ed. Harbra.
- [3] GREF: Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (1991), "Física 2 - física térmica e óptica", ed EDUSP, São Paulo.
- [4] Hosoume, Y., Kawamura, M.R.D. e Menezes, L.C. (1998), "A física na reforma do Ensino Médio", apresentado no VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Florianópolis, Sc.
- [5] MEC (1999), "Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Médio - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias", Brasília.
- [6] Menezes, L.C. (1996), "Formação continuada de professores de ciências - no âmbito ibero-americano", Autores Associados e Nupes, SP.
- [7] Pessoa de Carvalho, A.M. e Gil-Péres, D. (1993), "Formação de professores de ciências - tendências e inovações", Cortêz, SP.
- [8] Perma Pak (2000), <http://permapak.net/faq.htm> , "Emergency Food Storage Solutions".
- [9] Solar Cookers International (2000), <http://solarcooking.org> , "The Solar cooking Archive".

Apêndice A - Lista de material para o Forno Solar

- 2 caixas de papelão (o ideal são 2 caixas de folha de papel de fotocópia, com tampas):
 - primeira com no mínimo 31cmX31cm com 22cm de altura;
 - segunda com no mínimo 27cmX27cm com 20cm de altura.
- Pedacos extras de papelão.
- Um rolo de papel alumínio.
- Cola tipo cola Polar; vidro grande de 500g; quem souber fazer cola de farinha de trigo, pode usar também.
- Tinta preta *não tóxica* ou pó de carvão (300g).
- 1 saco plástico para forno de microondas (mínimo de 30cmX30 cm); se já tiver em casa.
- 30cm de arame.
- Jornal velho.

- Tesouras.
- Régua.
- Recipiente para misturar a cola com o carvão.

Apêndice B - Instruções para construção do forno solar

1 - Introdução

Com formato aproximadamente de um cubo de 30 a 40 cm de lado, o forno consiste em duas caixas de papelão sem as tampas, uma dentro da outra, com um espaço de no mínimo 2cm entre os respectivos fundos e paredes. As extremidades superiores das paredes são unidas, lacrando o espaço entre as caixas. As paredes e fundos internos de cada caixa são revestidos de papel alumínio e o fundo da caixa interna é pintado de preto. Possui uma tampa removível para permitir o manuseio dos alimentos. A parte diretamente sobre a abertura do forno é de um duplo filme plástico transparente. Presa à tampa há uma aba basculante, do tamanho da abertura do forno, revestida de papel alumínio.

Durante a construção do forno, fique atento para as questões abaixo, discutindo-as com seus colegas e com o professor. Não é preciso tomar notas agora.

- 1 - Por quê utilizar duas caixas? Qual a função da camada de ar entre as caixas?
- 2 - Qual a função do papel alumínio na caixa externa?
- 3 - Para que serve a cobertura plástica?
- 4 - Por quê a cobertura plástica é dupla? E se fôsse vidro?
- 5 - Por quê o fundo é preto?
- 6 - Por quê utilizar panela preta?
- 7 - Qual a função do papel alumínio na caixa interna?
- 8 - Qual a função da aba?
- 9 - Por quê a aba pode mover-se?
- 10 - Por onde o forno perde mais calor?
- 11 - Como poderíamos melhorar o forno?
- 12 - O que parece ser desnecessário no forno?
- 13 - Onde poderíamos economizar em mão de obra?
- 14 - Onde poderíamos economizar em dinheiro?

2 - Material

- 2 caixas de papelão, daquelas para papel de fotocópia A4 e respectivas tampas;
- Pedacos extras de papelão.
- Um rolo de papel alumínio.
- Cola tipo cola Polar, $\approx 200g$ (100g para colagem e 100g para fazer a tinta preta);
- Tinta preta não tóxica ou pó de carvão (300g).
- 1 saco plástico para forno de microondas (mínimo de 30cm X 30cm).
- 22cm de arame.

3 - Ferramentas etc

- Tesouras; um estilete também poderá ser útil.
- Lápis. Régua.
- Recipiente para misturar a cola com o carvão.
- Jornal velho para forrar o chão.

4 - Instruções utilizando caixas de papel de fotocópia A4 ou A3

O grupo deve-se organizar de forma a executar várias tarefas simultaneamente, para economizar tempo.

Primeiro conjunto de tarefas:

1.a - Meça as dimensões da primeira caixa (a maior, se os tamanhos forem diferentes) e cubra suas paredes e seu fundo internamente com papel alumínio.

1.b - Descole ambos os lados da segunda caixa (desfazendo-a por completo), redobre-a simetricamente e recole de forma a ter uma caixa com lados no mínimo 4cm menores que o da caixa anterior de forma que se a segunda for colocada no interior da primeira, haverá um espaço de no mínimo 2cm entre as paredes. Não se preocupe com a altura, deixe a máxima. Cubra suas paredes e seu fundo internamente com papel alumínio.

1.c - Recorte 8 tiras com 40 a 45 cm de comprimento e 2cm de largura. Forme 8 anéis colando as extremidades de cada tira.

Segundo conjunto de tarefas:

2.a - Cole os 8 anéis no fundo da primeira caixa.

Terceiro conjunto de tarefas:

3.a - Cole a segunda caixa no fundo da primeira.

3.b - Corte um pedaço de 22cm de arame, retifique-o e dobre as pontas em ângulo reto a 2cm da extremidade, uma para cada lado.

Quarto conjunto de tarefas:

4.a - Dobre aproximadamente 2cm das laterais da caixa externa de forma a encostarem nas laterais da caixa interna e cole os 4 cantos (retire o papel alumínio dos cantos para que a cola firme melhor).

Quinto conjunto de tarefas:

5.a - Dobre a parte superior das laterais da caixa interna e cole sobre os 2cm que foram dobrados da caixa externa. Corte as sobras da caixa interna.

Sexto conjunto de tarefas:

6.a - Meça as bordas horizontais superiores internas para poder fazer uma "abertura" na tampa (se sua caixa não tiver tampa, faça uma com uma placa de papelão). Recorte apenas três lados da abertura, formando uma aba móvel. Faça isso de forma que as ondulações do papelão formem buraquinhos de cada lado da aba, e não na extremidade. Cubra a parte interna da aba com papel alumínio. Cole o plástico na parte interna da tampa, tomando cuidado para não colá-lo na aba. Coloque o arame nos furos do papelão, na tampa e na aba, de forma a levantá-la.

Pinte o fundo da caixa interna de preto sobre o papel alumínio com a tinta (cuidado para não sujar as laterais) ou com carvão misturado com cola.

5 - Instruções para construção do forno utilizando caixas com abas

A forma final do forno será a mesma. A maior modificação está na colocação de um fundo extra na caixa interna (já que o fundo desta divide-se ao meio) antes da colocação do papel alumínio e da tinta. Além disso, uma tampa terá de ser feita a partir de um pedaço de papelão.

6 - Instruções Finais

Uma panela preta de metal, leve, ou uma lata de alumínio escurecida ao fogo é colocada com alimentos no fundo preto. A tampa é fechada e o forno levado ao Sol. A aba é levantada, presa com o arame, de maneira a refletir os raios do Sol para o interior do forno. O tempo de cozimento costuma ser o dobro de um forno a gás.

Apêndice C - Roteiro para o 1º relatório - lista de material para a aula de cozimento

Roteiro para o primeiro relatório

Com base na sua experiência de construção do forno e na discussão em sala de aula, responda, *justificando e discutindo*, as questões abaixo. Consulte seu caderno com as anotações das aulas anteriores, o seu livro texto, a biblioteca ou o seu professor na elaboração deste relatório. Não esquece de colocar o nome e número dos componentes do grupo em seu relatório e escolha um título para ele.

Não esqueça de justificar suas respostas.

- 1 - Por quê utilizar duas caixas? Qual a função da camada de ar entre as caixas? Que forma de transmissão de calor é dificultada por essa camada de ar?
- 2 - Qual a função do papel alumínio na caixa externa? Que forma de transmissão de calor é proporcionada por estas folhas de papel alumínio?
- 3 - Para que serve a cobertura plástica? Que forma de transmissão de calor é dificultada pelo plástico?
- 4 - Por quê a cobertura plástica é dupla? Que outra forma de transmissão de calor é dificultada pela dupla camada?
- 5 - Por quê o fundo é preto? O que aconteceria se fosse de outra cor?
- 6 - Por quê utilizar panela preta? Por que a panela deve ter paredes finas?
- 7 - Qual a função do papel alumínio na caixa interna? Se não houvesse o papel alumínio, o que aconteceria com a luz solar ao chegar à parede?
- 8 - Qual a função da aba? Por que ela é coberta com papel alumínio?
- 9 - Por quê a aba pode mover-se? O que você sabe sobre os ângulos de incidência e reflexão em um espelho plano?
- 10 - Por onde o forno perde mais calor? Onde o isolamento está mais fraco? Qual a dificuldade de isolar essa região?
- 11 - Como poderíamos melhorar o forno? Como melhorar o isolamento? Como melhorar a concentração de raios luminosos?
- 12 - O que parece ser desnecessário no forno?
- 13 - Onde poderíamos economizar em mão de obra?
- 14 - Onde poderíamos economizar em dinheiro?

Lista de material para a aula de cozimento

- i) Fornos solares.
- ii) Alimentos, sendo que arroz é o mais apropriado.
- ii) Uma panela preta, de metal, o menor possível. Uma lata pequena escurecida ao fogo pode ser utilizada.
- iv) Termômetros com escalas de 25°C a 200°C para medir a temperatura no interior do forno e um termômetro com escala de 20°C a 50°C, para medir a temperatura ambiente, se já os tiverem em casa. Não é necessário comprar.
- v) Pratos e garfos para degustação dos alimentos.
- vi) O primeiro relatório.

Apêndice D - Roteiro para acompanhamento da aula de cozimento

1 - Anote suas observações no caderno.

2 - Meça a temperatura no interior do seu forno, de 5 em 5 min e faça uma tabela da temperatura como função do tempo. Faça o mesmo, em conjunto com toda a turma, para os dois fornos do professor, para a lata ao Sol e para o termômetro deixado ao Sol.

Rediscuta as questões do primeiro relatório e mais estas:

1 - Qual a melhor posição para a aba? Por quê?

2 - Quando a tampa do forno é aberta, para observarmos o temperatura, o que acontece com o valor marcado pelo termômetro?

3 - Qual forno apresenta maiores temperaturas? Por quê? Compare com a temperatura ambiente e com a temperatura da lata que está ao Sol.

4 - O que você observa se formando na cobertura plástica? Explique.

Agora que você está utilizando os fornos e pode comparar a eficiência deles com o forno incompleto do professor, com a lata ao Sol e com a temperatura ambiente, reveja as questões do primeiro relatório. Discuta qual a contribuição de cada detalhe do forno: paredes duplas, papel alumínio na caixa externa e na caixa interna, cobertura plástica, fundo preto, panela preta, a aba, o movimento da aba. Reveja suas respostas às últimas questões sobre a perda de calor, isolamento, concentração dos raios luminosos e finalmente as melhorias ao forno.

Apêndice E - Roteiro para o segundo relatório

Com base na sua experiência de construção do forno, na sua utilização na aula de cozimento, nas discussões em sala de aula, no seu primeiro relatório, no "roteiro para acompanhamento da aula de cozimento" distribuído na aula de cozimento e nas suas anotações desta última aula, prepare um novo relatório sobre o forno solar. Discuta todas as questões levantadas nos roteiros, relatórios e aulas sobre fornos solares, inclua as tabelas e outros dados sobre o cozimento, faça gráficos a partir dessas tabelas, finalmente, tire suas conclusões e faça comentários. Consulte seu caderno, seu livro texto, a biblioteca e seu professor na elaboração deste relatório. Não esqueça de colocar o nome e número dos componentes do grupo em seu relatório e escolha um título.

Apêndice F - Parecer do Professor Francisco Cordeiro

Parecer do Professor Francisco Cordeiro, regente das turmas 2A e 2B, sobre o resultado das aulas utilizando o forno solar descritas nesta monografia (22/11/2000).

"Em relação ao projeto de construção de um forno solar devo destacar os seguintes aspectos:

1) Foi importante a orientação inicial sobre a necessidade de utilizar materiais facilmente encontrados no cotidiano para a construção do forno: caixas de papelão, papel laminado, cola, tesoura, arame, etc.

2) Os alunos foram conscientizados sobre a importância da utilização de formas alternativas de energia, dentre as quais a energia solar, abundante em nosso clima, e que tem tido pouca utilização.

3) A contextualização do tema ficou bastante evidente, na medida em que os conteúdos programáticos prepararam a concentração básica necessária para a compreensão dos fenômenos físicos envolvidos.

4) A organização do trabalho previa a formação de pequenos grupos que desenvolveram uma ação cooperativa para a obtenção dos recursos necessários e para a devida distribuição de tarefas.

5) A roteirização do experimento não se limitou a uma mera relação dos procedimentos, promoveu de forma objetiva a reflexão crítica de todos os aspectos que poderiam interferir no funcionamento do forno.

6) A presença de diferentes modelos de forno solar permitiram uma aquisição imediata de informações que favoreceram os alunos na sequenciação de etapas necessárias à construção do forno.

7) Sem dúvida alguma a construção do forno em sala de aula, portanto no ambiente natural de aprendizagem, sem sofisticções laboratoriais, que certamente dificultariam a movimentação dos alunos, proporcionou enorme capacidade de iniciativa e fácil acesso aos materiais.

8) A naturalidade impregnou o comportamento dos alunos quanto à utilização dos recursos e no encaminhamento das dúvidas que surgiram durante o trabalho.

9) A real utilização do forno permitiu a constatação da eficiência de seu funcionamento e gerou intensa curiosidade nos diferentes segmentos da instituição.

Conclusão: Pode-se assim constatar a importância da realização de projetos de Ciências, de um modo geral, que particularmente na física, contribuem de forma insofismável para a formação de cidadãos críticos que passam a considerar a aquisição de conhecimento como uma necessidade concreta capaz de elucidar os mistérios da vida e obter soluções que não agriam o meio ambiente."

Apêndice G - Figuras e fotografias

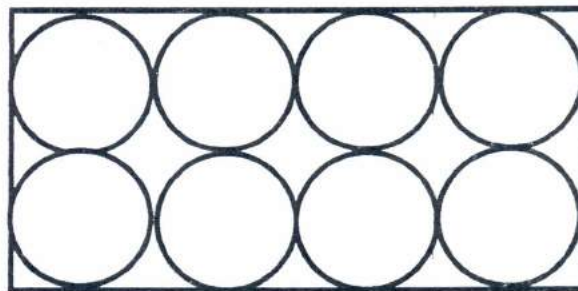


Figura G.1 - Anéis de suporte. Vista superior da caixa externa com os anéis de suporte colados no fundo, logo após a execução da etapa 5 da seção 1.3.

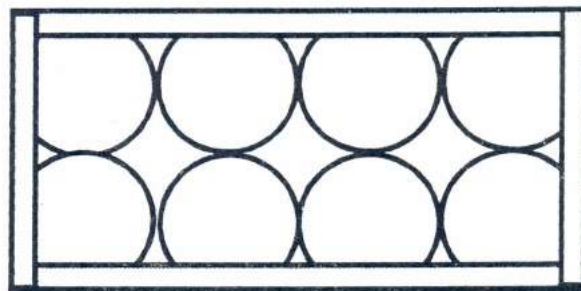


Figura G.2 - Borda da caixa externa. Vista superior da caixa externa com os anéis de suporte colados no fundo e as bordas dobradas para dentro logo após a execução da etapa 7 da seção 1.3. A caixa interna, colada ao fundo da caixa externa na etapa 6, não foi desenhada de forma a permitir uma melhor visão; tal será o aspecto da caixa externa pronta no forno didático.

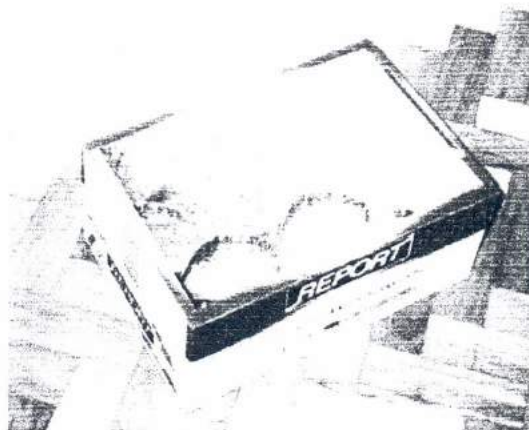


Figura G.3 - Fotografia da caixa externa do forno didático. Corresponde ao desenho na figura G.2. Pode-se ver a forração de papel alumínio, os anéis de suporte colados ao fundo e as bordas horizontais dobradas para dentro.

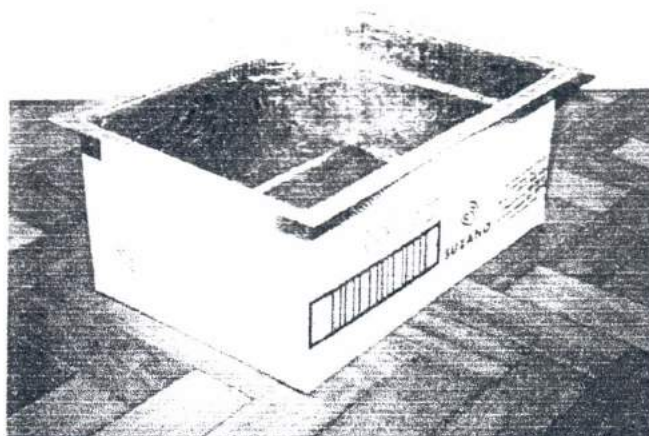


Figura G.4 - Fotografia da caixa interna do forno didático. Pode-se ver a forração de papel alumínio, o fundo preto e a borda horizontal dobrada para fora que deve ser colada na borda horizontal da caixa externa.



Figura G.5 - Fotografia do encaixe das duas caixas. A caixa interna está sendo colocada dentro da caixa externa. Pode-se ver a diferença entre o tamanho das duas caixas e como a borda horizontal da caixa interna irá se ajustar à borda horizontal da caixa externa.

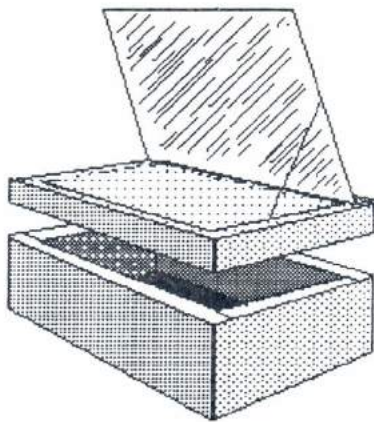


Figura G.6 - Forno solar pronto. Pode-se ver a tampa removível, tendo o filme plástico na parte central com a aba coberta com papel alumínio, levantada pelo arame e o corpo do forno onde se vê o fundo preto e as laterais espessas, com ar dentro, formadas pelas duas caixas. Redesenhado a partir de desenho de Mark Aalfs [9] em <http://solarcooking.org/sbcdes.htm>.

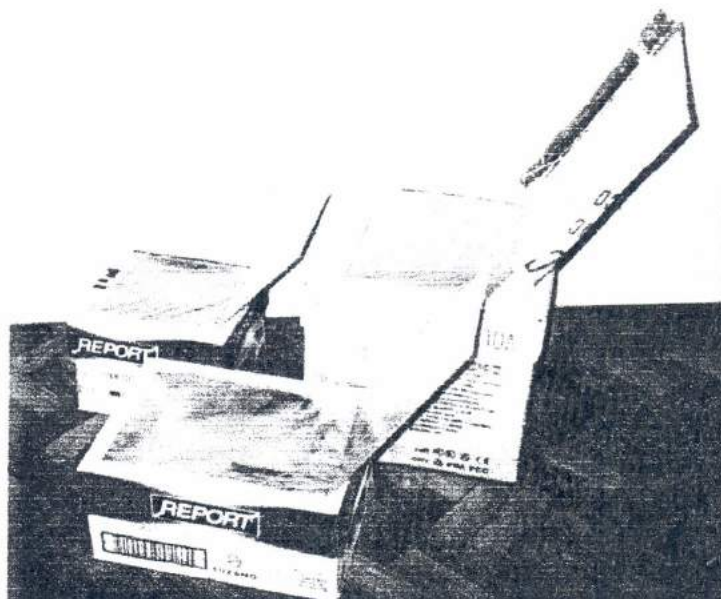


Figura G.7 - Fotografia de três dos fornos utilizados nas aulas. O menor é o forno pronto pequeno (31cmX31cm), o seguinte é o forno didático do mesmo tamanho do forno dos alunos (44cmX31cm) e o maior é o forno grande utilizado na aula de cozimento.